



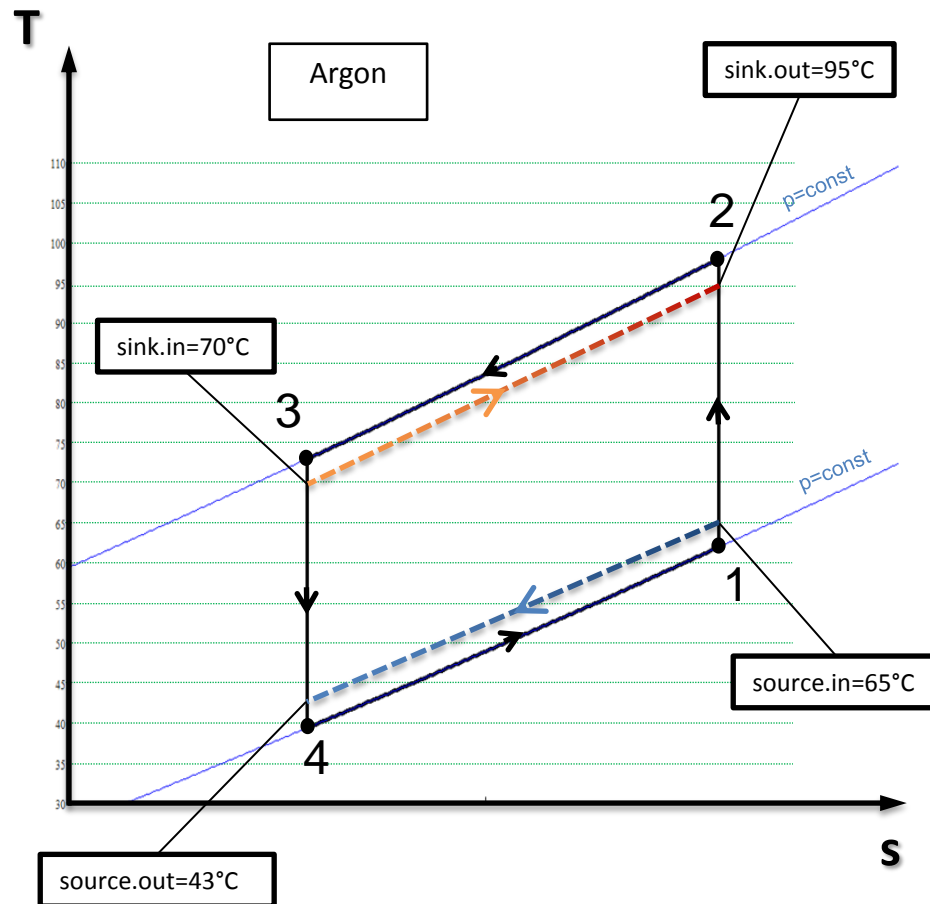
## Industrielle ECOP Wärmepumpe und Kältemaschine mit Edelgaskreislauf

ECOP Technologies GmbH, Wien  
Bernhard Adler, CTO  
Sebastian Riepl, CEO

Technische Universität Wien  
Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Karl Ponweiser  
Institut für Energietechnik und Thermodynamik

# 1 – Prozess allgemein

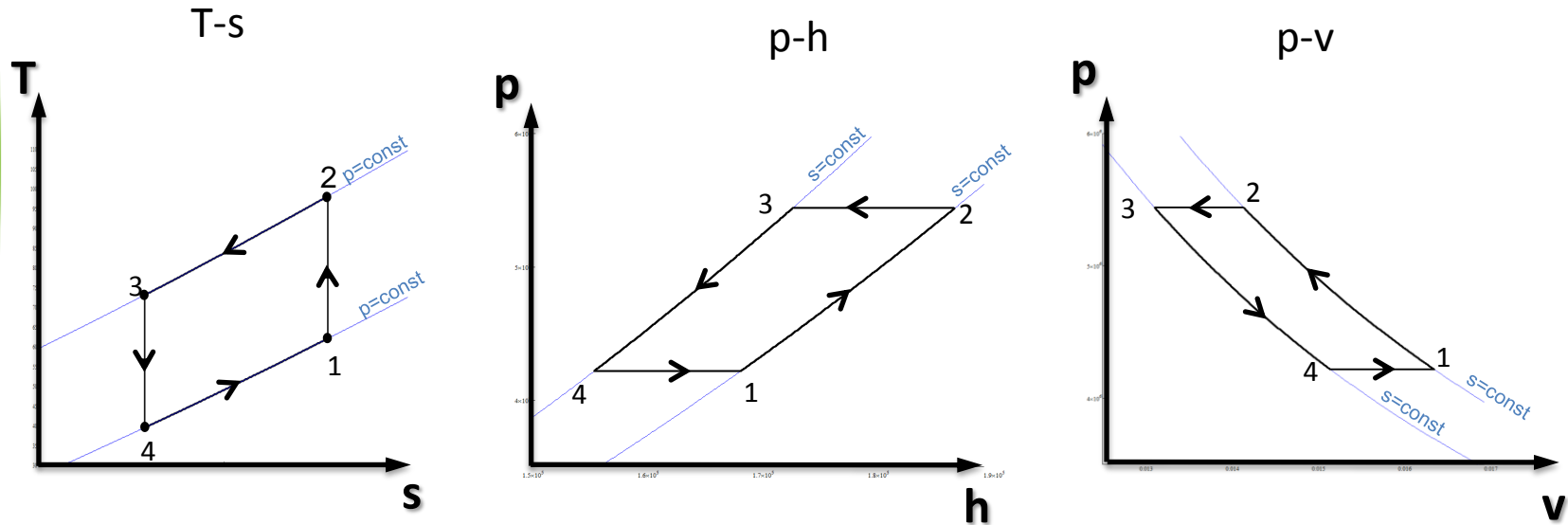
- Joule Prozess im rein gasförmigen Bereich



- 1 – 2 isentrope Verdichtung
- 2 – 3 isobare Wärmeabfuhr
- 3 – 4 isentrope Entspannung
- 4 – 1 isobare Wärmezufuhr

# 1 – Prozess allgemein

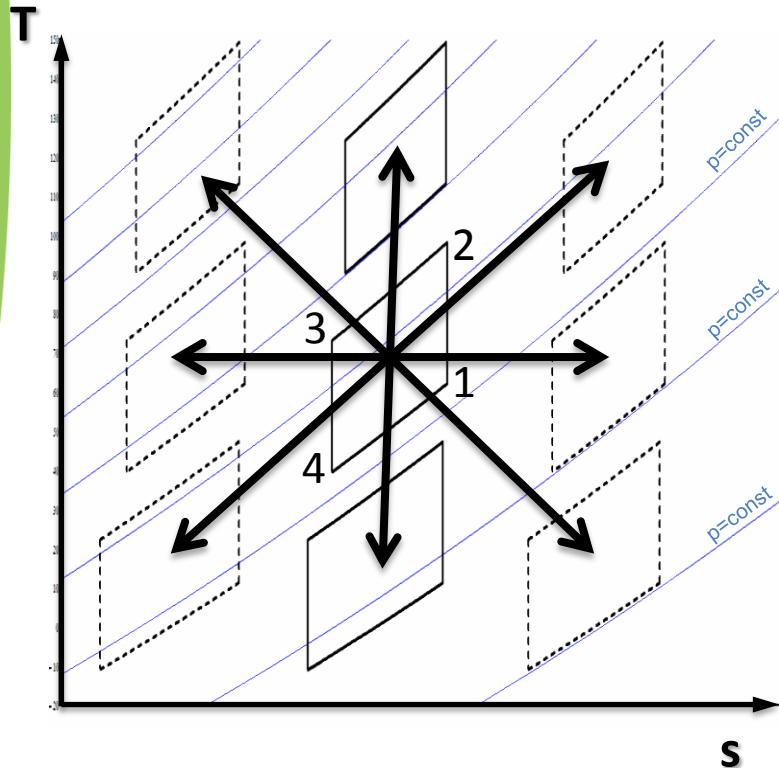
- Joule Prozess - Darstellungen



# 1 – Prozess allgemein

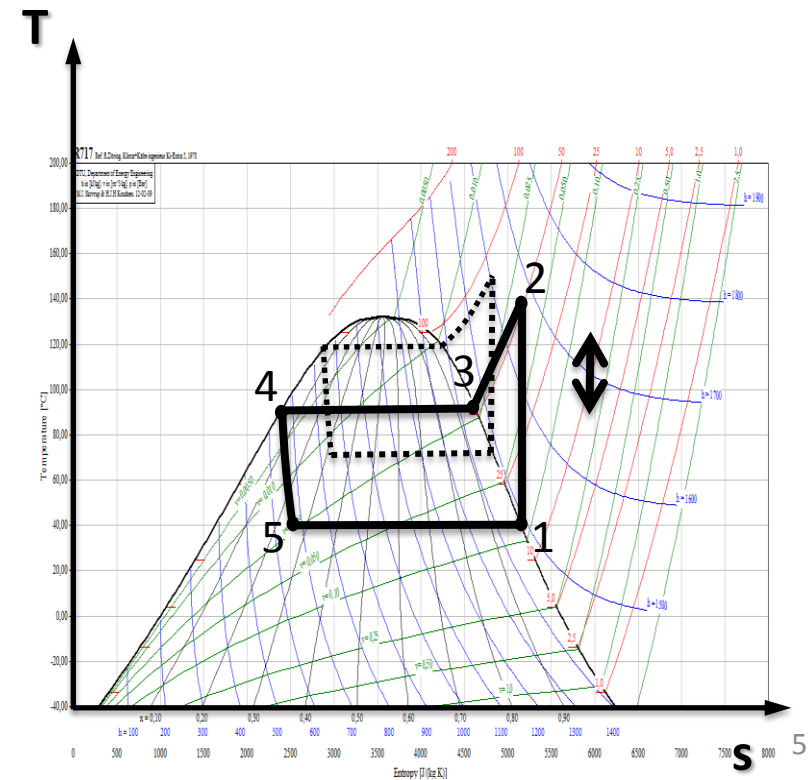
## Einphasiger Joule Prozess

- Verschiebung des Prozesses im weiten Temperaturbereich  
Temperatur ist vom Druck entkoppelt!



## 2-Phasen Prozess

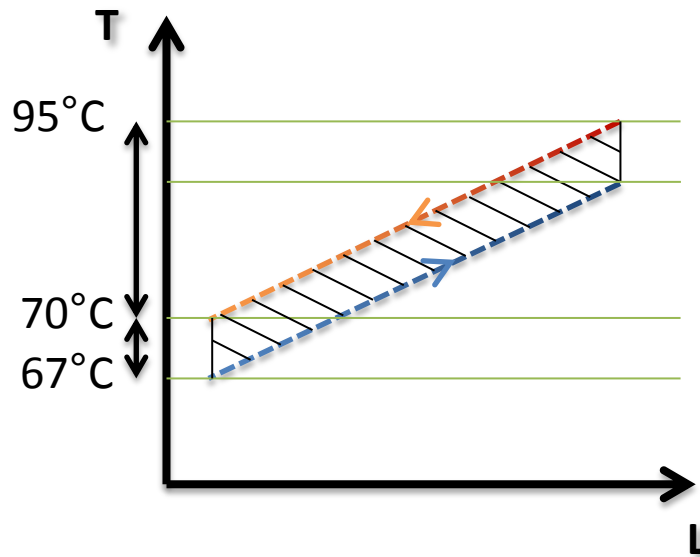
- Verschiebung des Prozesses nur im eingeschränkten Temperaturbereich



# 1 – Prozess allgemein

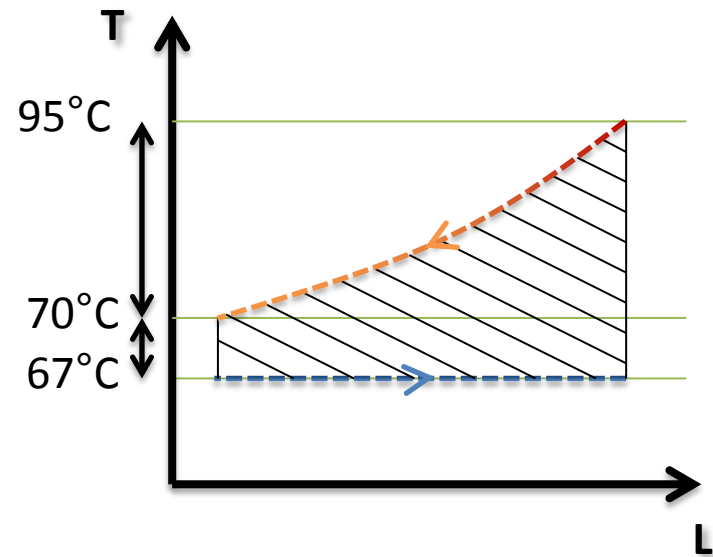
- Vergleich von sensibler und latenter Wärme

$$d\dot{E}_L = T_A \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_1 \cdot T_2} d\dot{Q} \quad T_A = 67^\circ\text{C}$$



$$\Delta t_m = 3\text{K}$$

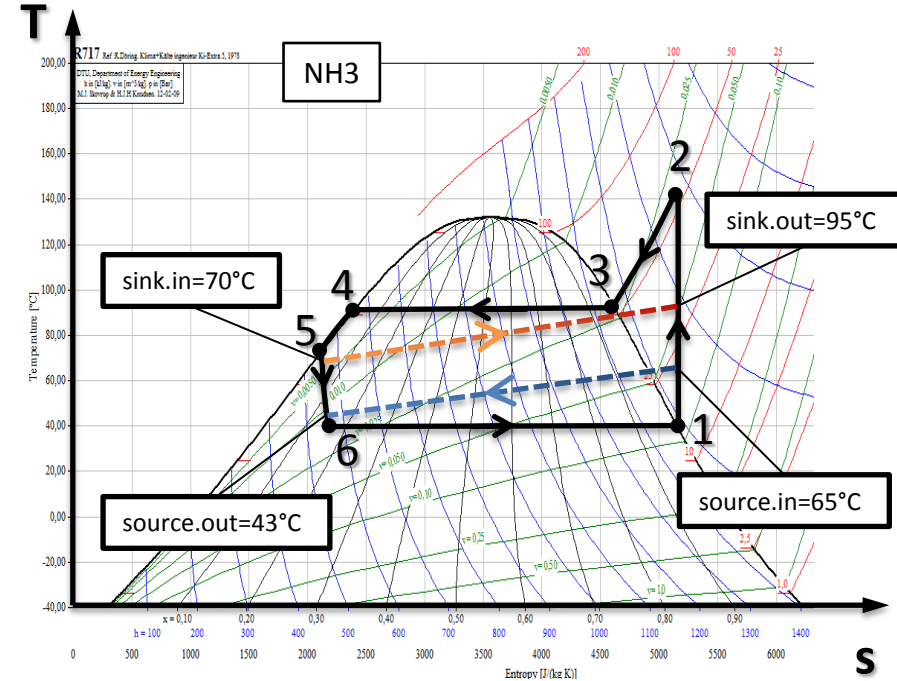
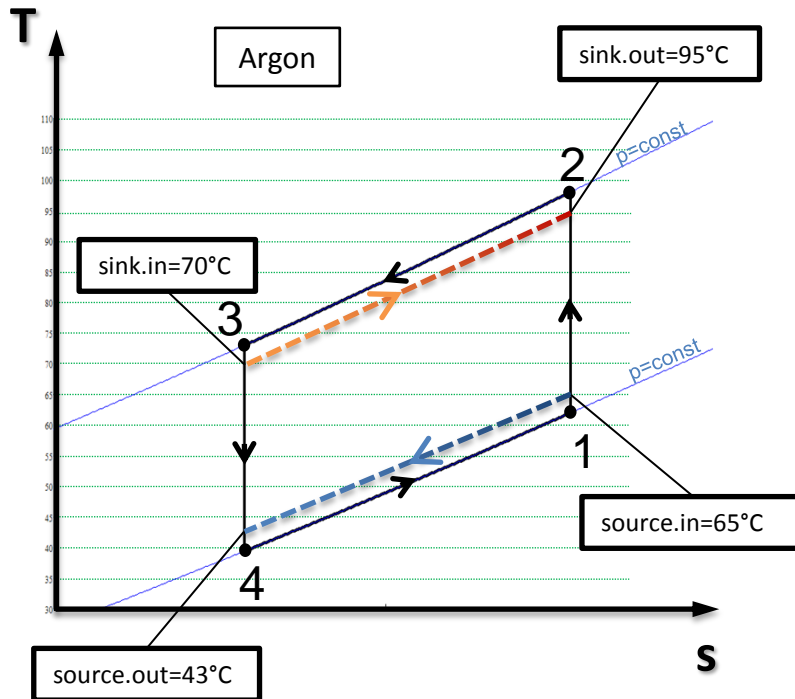
0.8% Exergieverluste von Q



$$\Delta t_m = 11.2\text{K}$$

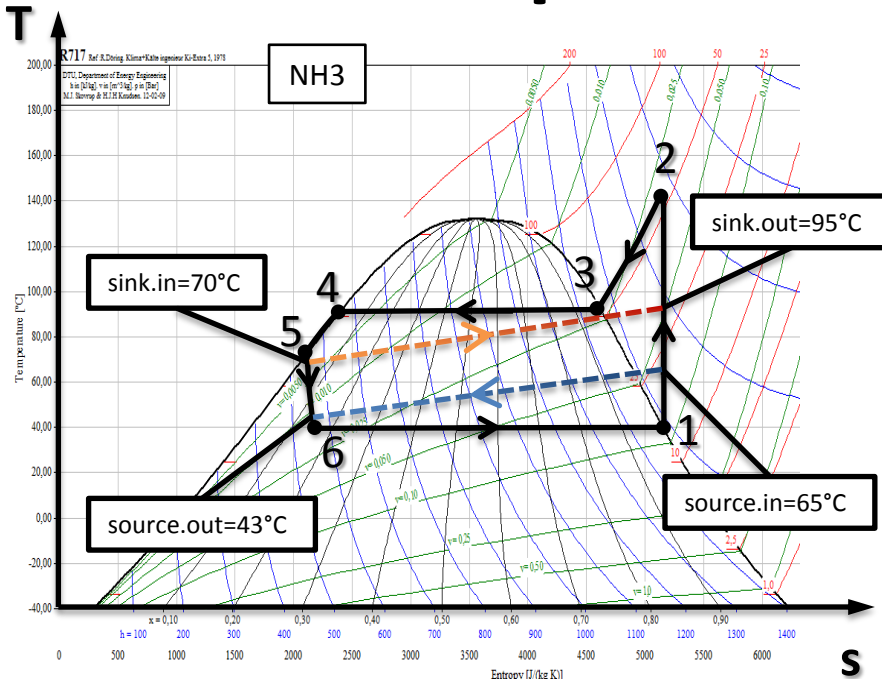
3.2% Exergieverluste von Q

# 1 – Prozess allgemein



schematischer Vergleich eines 1- und 2- Phasenprozesses  
bei quellen- und senkenseitiger Verwendung  
von Transportmedien für thermische Energie mit sensiblem Speicherverhalten

# 2 – Prozess Bsp. 1



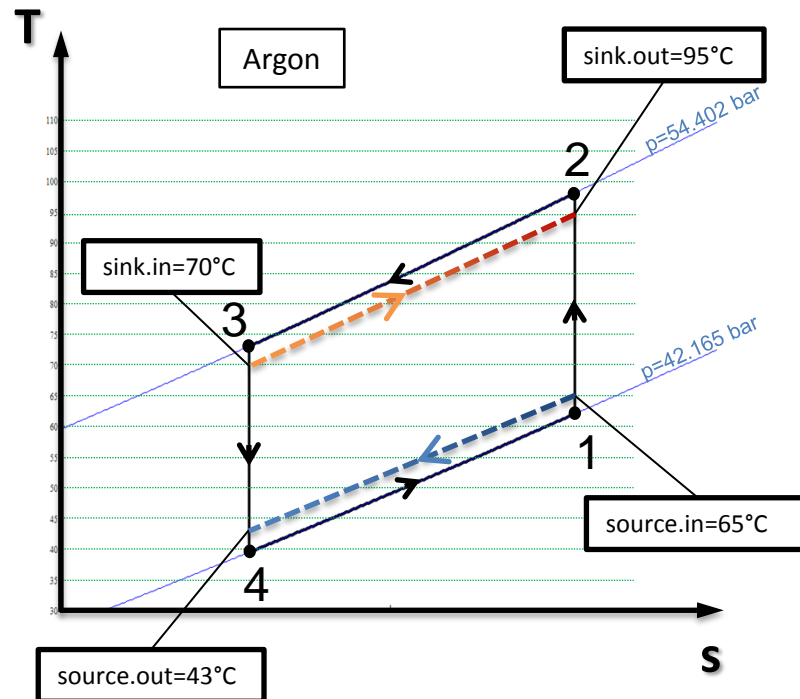
## Beispiel 1

- Senke 70/95
- Quelle 65/43

$$COP = \frac{h_2 - h_5}{h_2 - h_1} = 6.05$$

NH3	T [°C]	p [bar]	s [kJ/(kg K)]	h [kJ/(kg)]
1	40	15.554	5.6265	1633.1
2	143.13	54.402	5.6265	1817.4
3	93	54.402	5.0572	1596.5
4	93	54.402	2.9365	819.97
5	73	54.402	2.6082	702.99
6	40	15.554	2.6567	702.99

## 2 – Prozess Bsp. 1



### Beispiel 1

- Senke 70/95
- Quelle 65/43

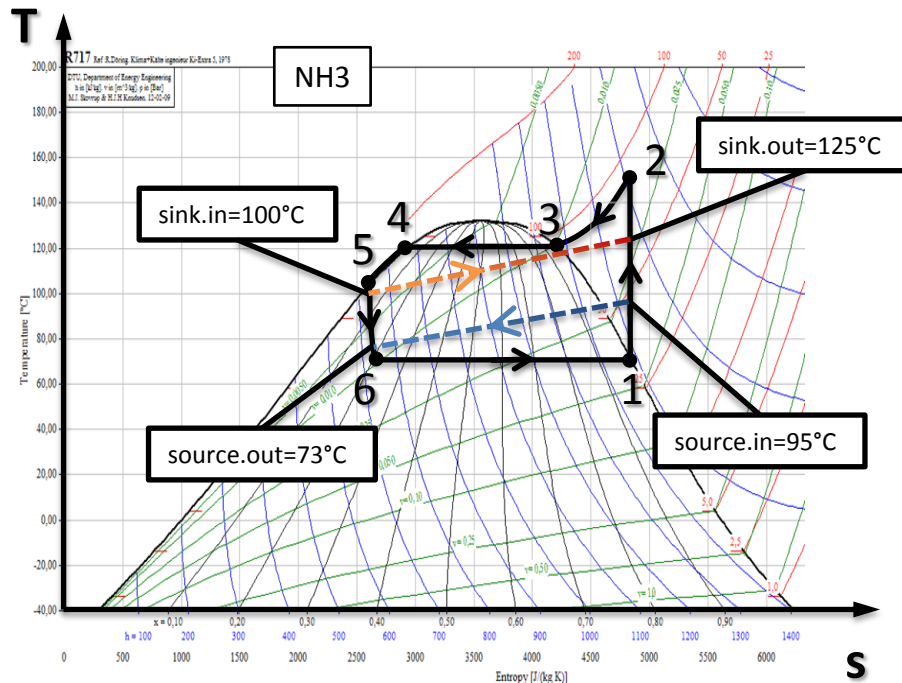
$$COP = \frac{Q}{W} =$$

$$= \frac{h_2 - h_3}{(h_2 - h_1) - (h_3 - h_4)} = 10.3$$

Ar	T [°C]	p [bar]	s [kJ/(kg K)]	h [kJ/(kg)]
1	62	42.165	3.1422	168.10
2	98	54.402	3.1422	186.67
3	73	54.402	3.1030	172.60
4	39.46	42.165	3.1030	155.41



## 2 – Prozess Bsp. 2



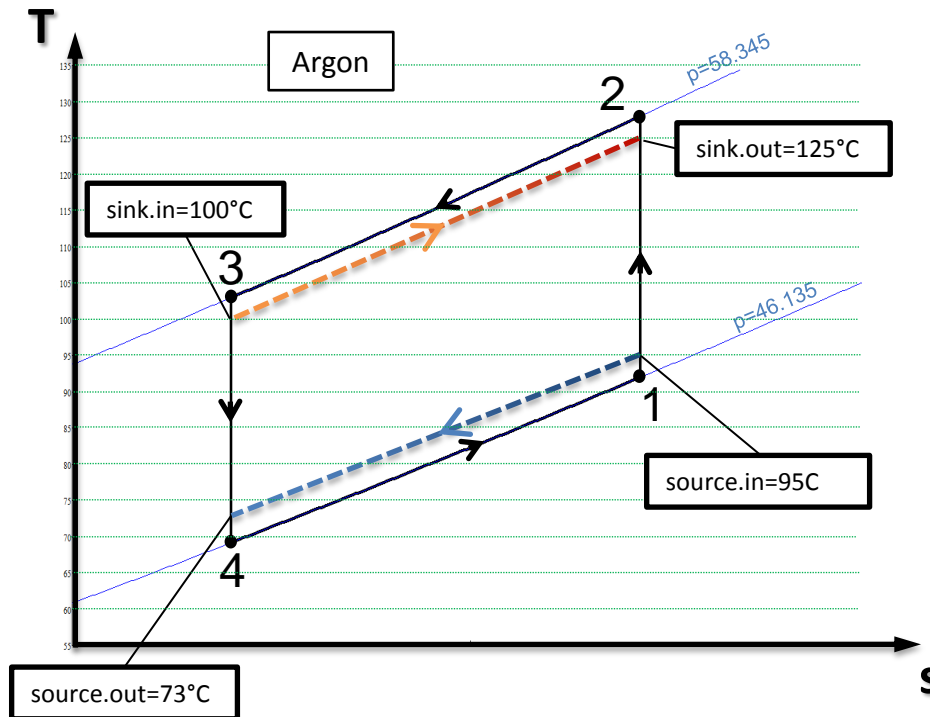
### Beispiel 2

- Senke 100/125
- Quelle 95/73

$$COP = \frac{h_2 - h_5}{h_2 - h_1} = 6.33$$

NH3	T [°C]	p [bar]	s [kJ/(kg K)]	h [kJ/(kg)]
1	70	33.135	5.3131	1627.1
2	160.08	91.95	5.3131	1768.3
3	120.5	91.95	4.6326	1489.9
4	120.5	91.95	3.4328	1017.6
5	103	91.95	3.0604	873.98
6	70	33.135	3.1187	873.98

## 2 – Prozess Bsp. 2



### Beispiel 2

- Senke 100/125
- Quelle 95/73

COP= 11,24

Ar	T [°C]	p [bar]	s [kJ/(kg K)]	h [kJ/(kg)]
1	92	46.135	3.1699	184.29
2	128	58.345	3.1699	202.97
3	103	58.345	3.1340	189.03
4	69.2	46.135	3.1340	171.59

## 2 – Prozess

- Vergleich der Prozesse bei Temperaturverschiebung um 30 °C für 1MW gesamte Wärmeabgabe

2-phasen Prozess – NH <sub>3</sub>	Senke 70/95 Quelle 65/43	Senke 100/125 Quelle 95/73	Änderung %
$\dot{m}$ [kg/s]	0.897	1.118	25%
V.strom.ein.Verd [m <sup>3</sup> /s]	0.075	0.042	43%
p.max [bar]	54.402	91.95	69%
Q.WT.Überhitzer [kW]	198.2	311.3	57%
Q.WT.Kondensator [kW]	696.8	528.1	24%
Q.WT.Unterkühler [kW]	105	160.6	53%
$\Pi$ [-]	3.498	2.775	21%

Joule Prozess – Ar	Senke 70/95 Quelle 65/43	Senke 100/125 Quelle 95/73	Änderung %
$\dot{m}$ [kg/s]	71.07	71.74	1%
V.strom.ein.Verd [m <sup>3</sup> /s]	1.16	1.175	1%
p.max [bar]	54.402	59.141	9%
Q.WT [kW]	1000	1000	0 %
$\Pi$ [-]	1.290	1.265	2%

## 2 – Prozess

- Warum wird der Joule Prozess bisher nicht eingesetzt?

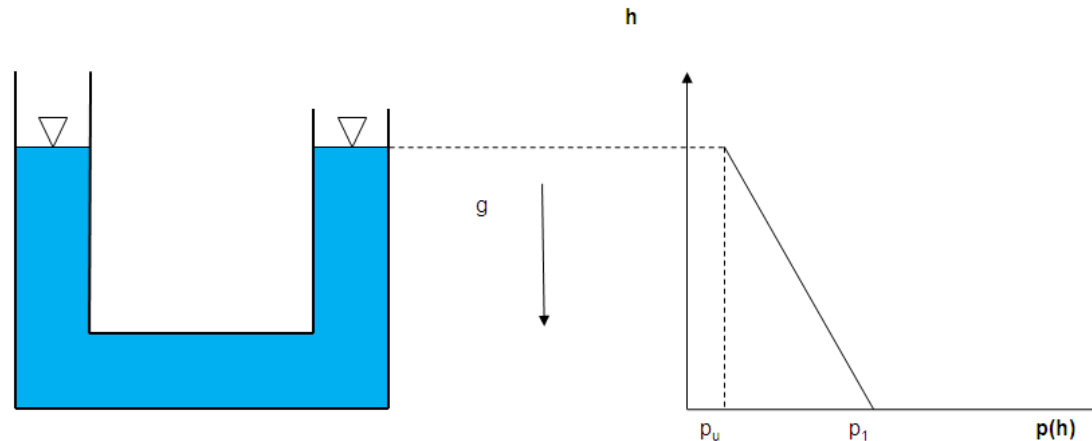
<b>Verdichtung mit <u>100% Wirkungsgrad</u> <u>@ 1MW Wärmeabgabe</u></b>	<b>Joule Prozess – Ar</b>	<b>2-phasen Prozess – NH3</b>
P.Verdichtung [kW]	1319	165.4
P.Entspannung [kW]	1222	-
Nettoleistung	97	165.4
COP	10.3	6.05

<b>Verdichtung mit <u>80% Wirkungsgrad</u> <u>@ 1MW Wärmeabgabe</u></b>	<b>Joule Prozess – Ar</b>	<b>2-phasen Prozess – NH3</b>
P.Verdichtung [kW]	1649	206.75
P.Entspannung [kW]	1222	-
Nettoleistung	427	206.75
COP	2.34	4.84

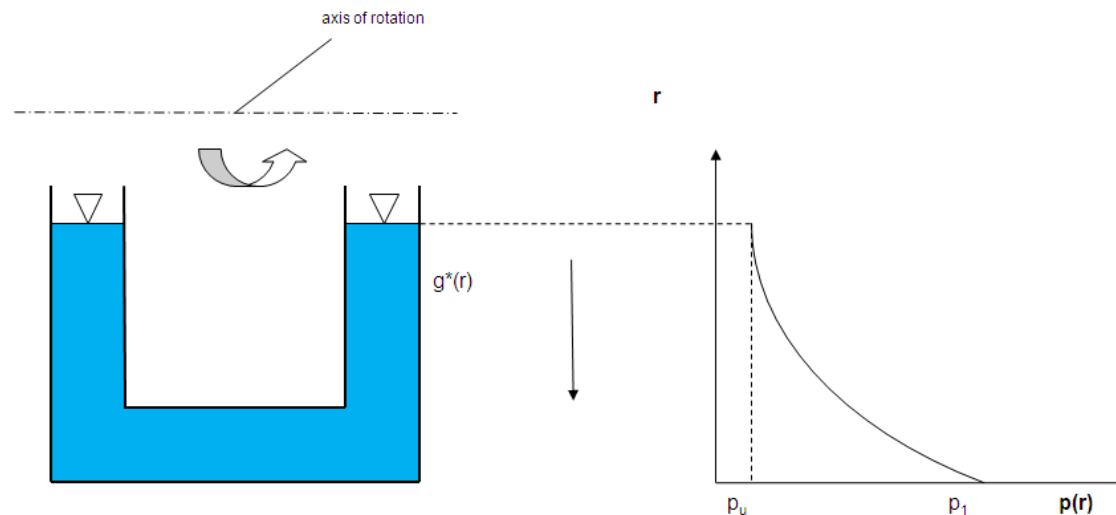
Auswirkung der  
Verluste bei  
vereinfachter  
Betrachtung

# 3 – ECOP Technologie

- Hydrostatischer Druckverlauf



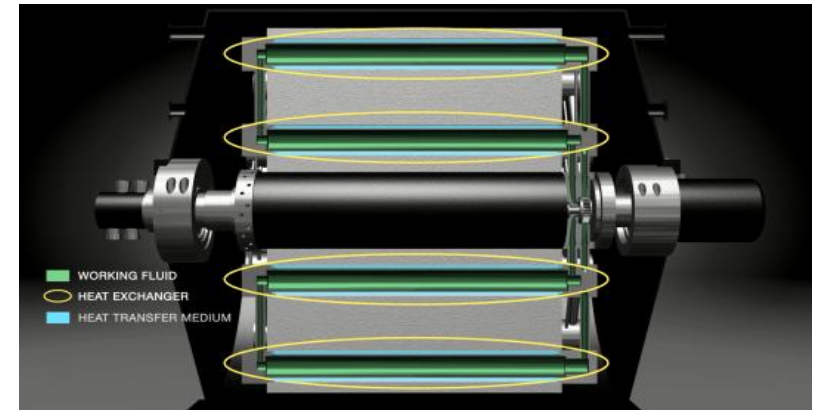
- Druckverlauf im rotierendem System



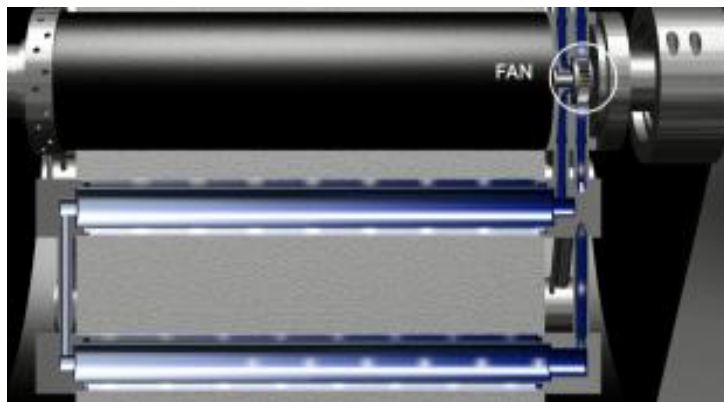
# 3 – ECOP Technologie



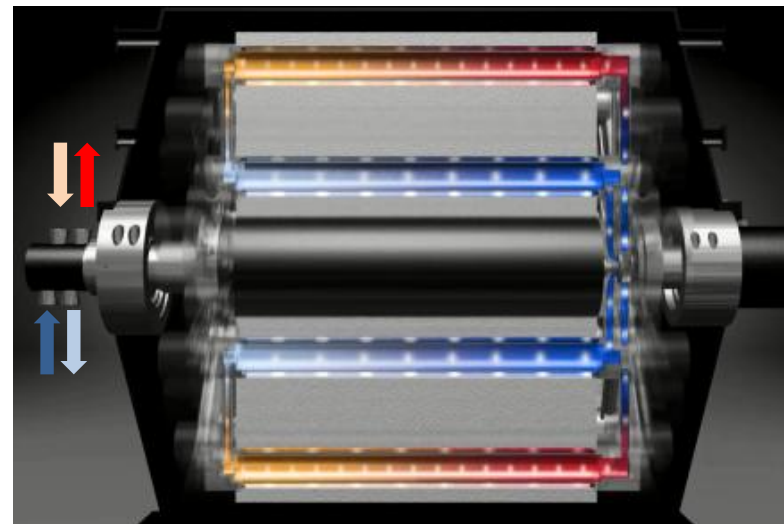
Wärmetauscher, paarweise angeordnet



Edelgas in einem geschlossenem Kreislauf, interagiert mit Wärmetauschern

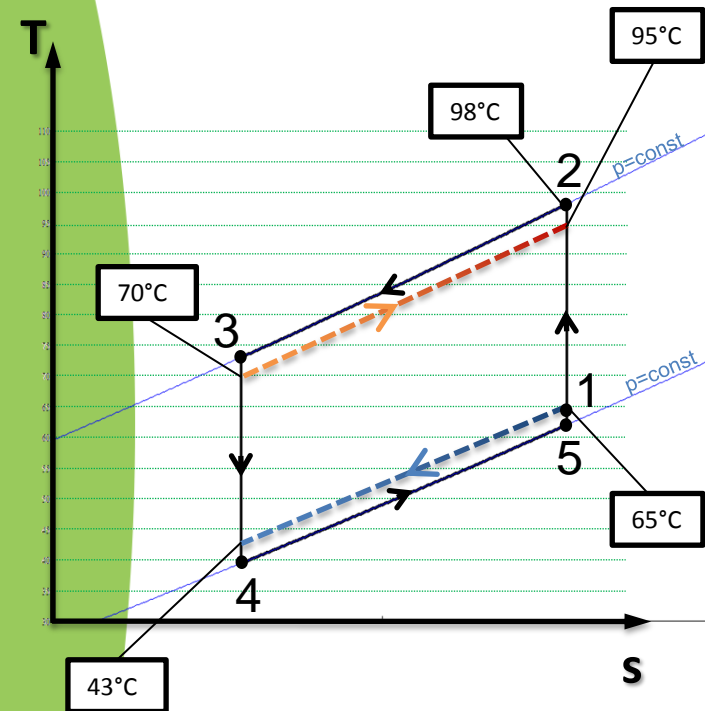


Ein Ventilator treibt den Kreislauf

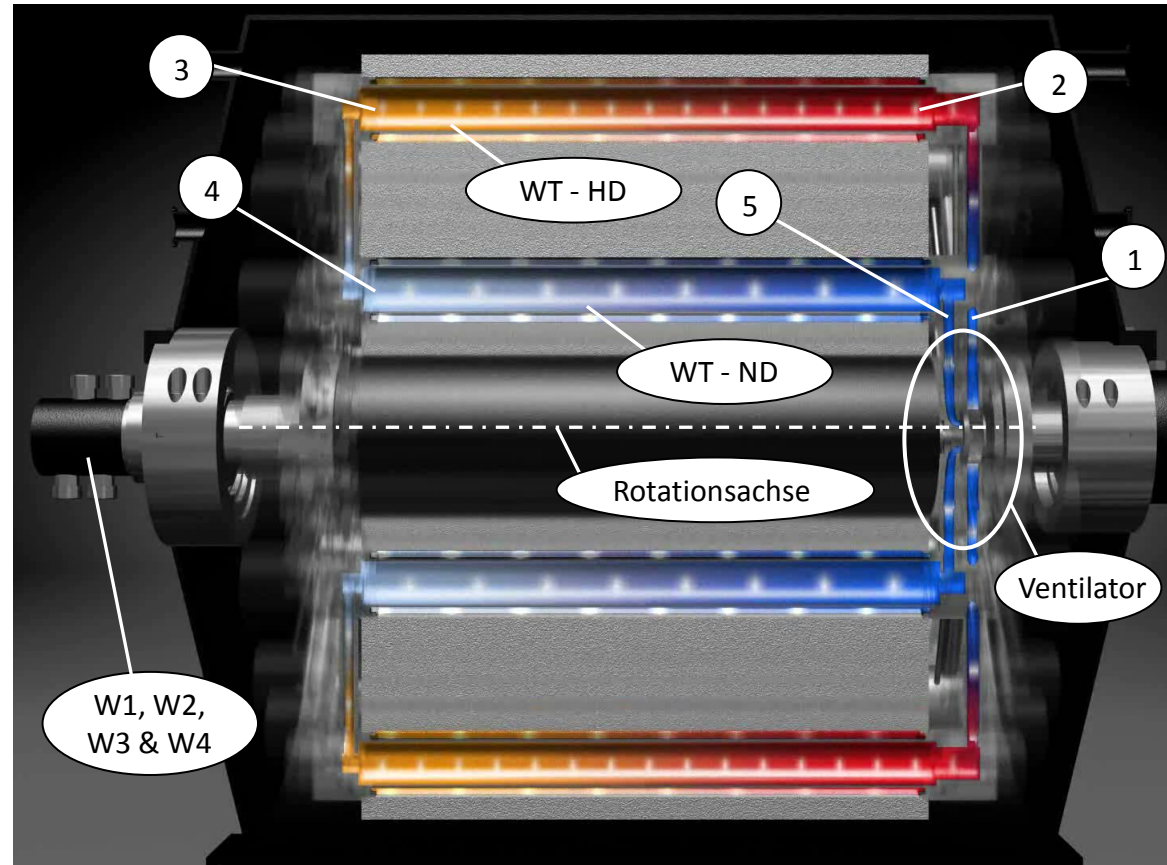


Bei Rotation wird thermische Energie von den inneren Wärmetauschern mit niedrigem Temperaturniveau zu den äußeren Wärmetauschern mit hohem Temperaturniveau gepumpt. Mittels zwei weiteren Kreisläufen wird mittels Wärmeträgermedien über die Welle thermische Energie in das System bzw. aus dem System transportiert

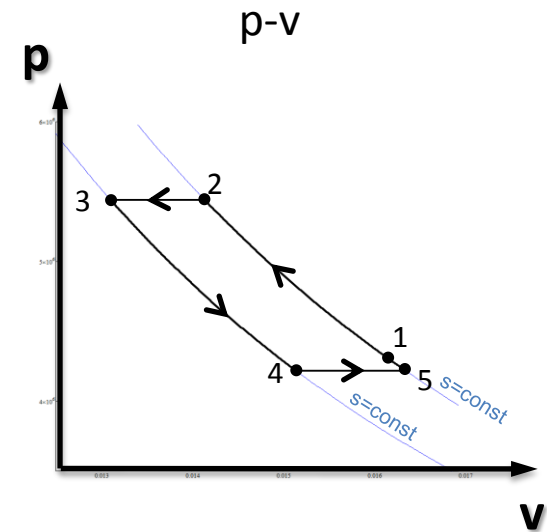
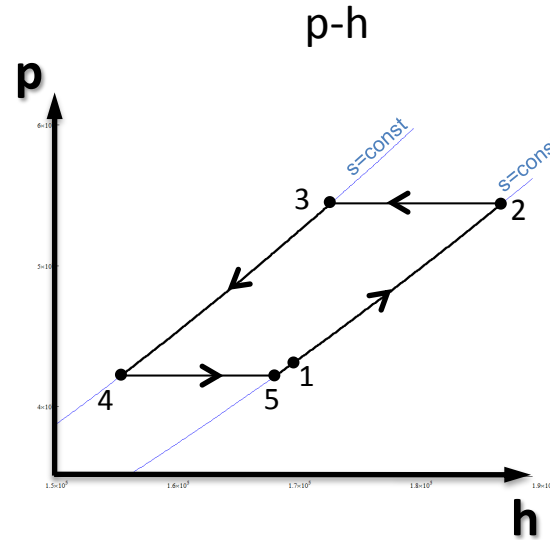
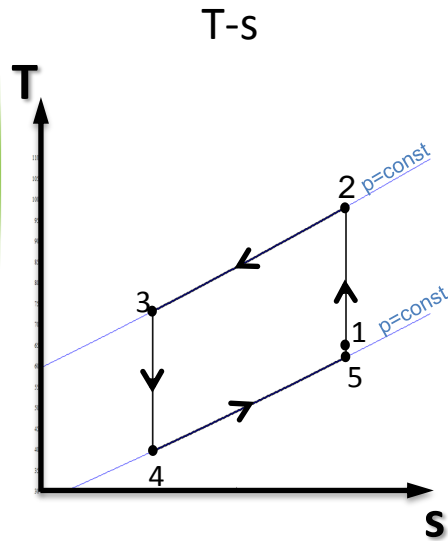
# 3 – ECOP Technologie



- 1 – 2 isentrope Verdichtung
- 2 – 3 isobare Wärmeabfuhr (WT – HD)
- 3 – 4 isentrope Entspannung
- 4 – 5 isobare Wärmezufuhr (WT – ND)
- 5 – 1 isentrope Verdichtung (Ventilator)



# 3 – Joule Prozess - umgesetzt mittels ECOP Technologie Darstellungen





# 3 – ECOP Technologie

- Umsetzung des Joule Prozesses mittels ECOP Technologie

<b>Verdichtung mit 100% Wirkungsgrad</b>	<b>ECOP Joule Prozess – Ar</b>	<b>2-phasen Prozess – NH3</b>
P.Verdichtung [kW]	1222	165.4
P.Entspannung [kW]	1222	-
P.Ventilator [kW]	97	-
Nettoleistung [kW]	97	165.4
COP	10.3	6.05

<b>Verdichtung mit 80% Wirkungsgrad</b>	<b>ECOP Joule Prozess – Ar</b>	<b>2-phasen Prozess – NH3</b>
P.Verdichtung [kW]	1222	206.75
P.Entspannung [kW]	1222	-
P.Ventilator [kW]	121.25	-
Nettoleistung [kW]	121.25	206.75
COP	8.24	4.84

Auswirkung der  
Verluste bei  
vereinfachter  
Betrachtung

# 3 – ECOP Technologie

- Umsetzung des Joule Prozesses mittels ECOP Technologie

<b>Verdichtung mit 100% Wirkungsgrad</b>	<b>ECOP Joule Prozess – Ar</b>	<b>2-phasen Prozess – NH3</b>
P.Verdichtung [kW]	1222	165.4
P.Entspannung [kW]	1222	-
P.Ventilator [kW]	97	-
Nettoleistung [kW]	97	165.4
COP	10.3	6.05

<b>Verdichtung mit 80% Wirkungsgrad</b>	<b>ECOP Joule Prozess – Ar</b>	<b>2-phasen Prozess – NH3</b>
P.Verdichtung [kW] *	1234.34	206.75
P.Entspannung [kW] *	1209.78	-
P.Ventilator [kW]	151.95	-
Nettoleistung [kW]	151.95	206.75
COP	6.58	4.84

Auswirkung der  
Verluste bei  
vereinfachter  
Betrachtung

\* 99% Wirkungsgrad für die ECOP Verdichtung und Entspannung

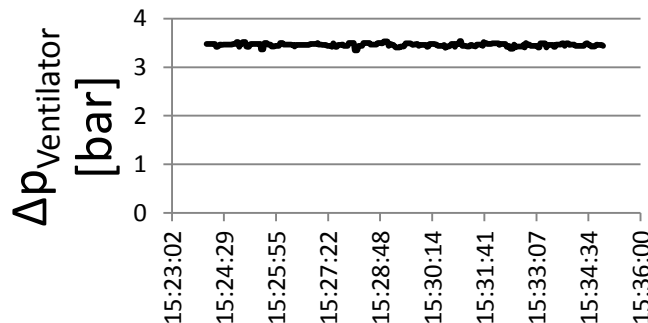
# 3 – ECOP Technologie

## • Verdichtungseffizienzberechnung - Versuchsdaten

Es wurde die Druckdifferenz am Ventilator gemessen

Diese entspricht der Summe aus:

- Divergenz der Isobaren (Exergieanteil)
  - Druckverluste von 2 Wärmetauschern (WT ND und WT HD)
  - Druckverluste der Verdichtung und der Entspannung
- quasistationäre Messung über 11 min:



$$\Delta p_{\text{Ventilator}} = 3.46 \text{ bar}$$

Messwert:  $\Delta p_{\text{Ventilator}} = 3,46 \text{ bar}$  (64.04bar auf 67.5bar)  $\rightarrow \Pi_{\text{Ventilator}} = 1.054$

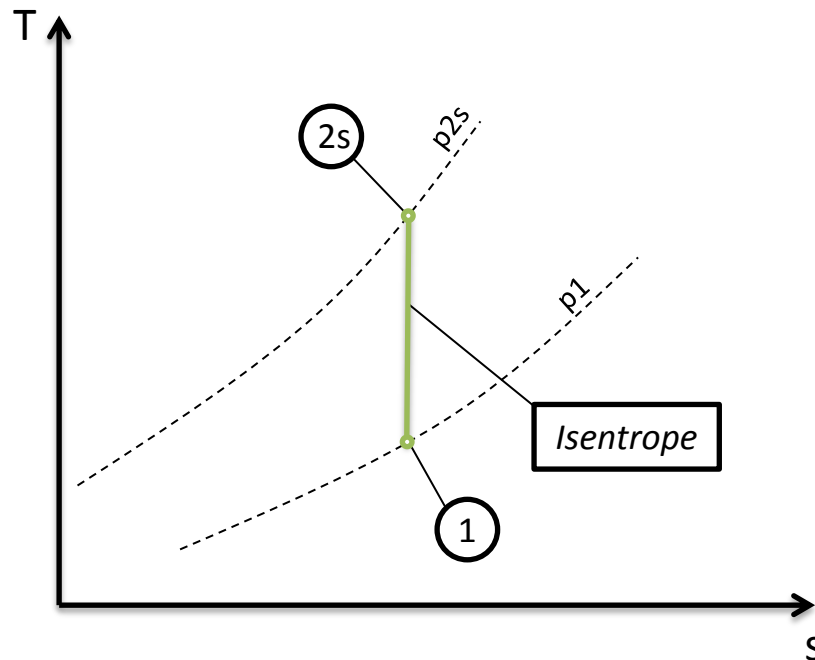
Divergenz der Isobaren ( $p_1 - p_5$ ) entspricht 1.136bar (dies sind keine Verluste!)

Von den übrigen 2.324bar fallen aufgrund von Simulationen 14,2% auf die Verdichtung  $\rightarrow$  dies entspricht 0.33bar

Wie wirken sich nun diese 0.33bar auf den Wirkungsgrad der Verdichtung aus?

# 3 – ECOP Technologie

- Verdichtungseffizienzberechnung - Versuchsdaten



$$T_1 = 42^{\circ}\text{C}$$

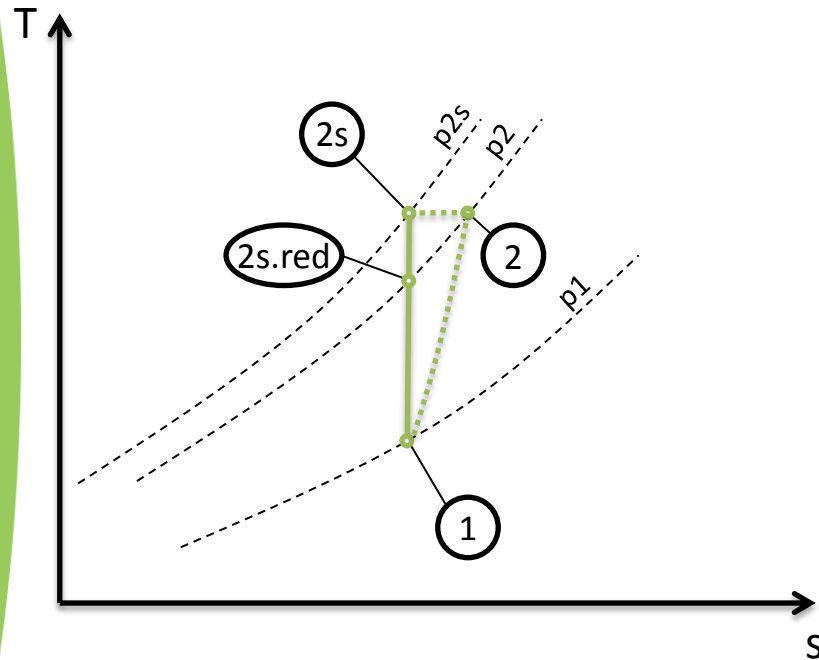
$$T_{2s} = 70^{\circ}\text{C}$$

$$p_1 = 67.5\text{bar}$$

$$p_{2s} = p_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 83.5\text{bar}$$

# 3 – ECOP Technologie

- Verdichtungseffizienzberechnung – Versuchsdaten



$$\Delta p_{\text{Verd}} = 0.33 \text{ bar}$$

Druckabfall für die Verdichtung  
wegen  $h = \text{konst.}$  und  $h \sim T$  wird  $\Delta p$  bei  $T = \text{konst.}$   
aufgetragen

$$p_2 = p_{2s} - \Delta p_{\text{Verd}} = 83.17 \text{ bar} \quad \text{und} \quad T_2 = T_{2s}$$

$$T_{2s.\text{red}} = T_1 \cdot \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 69.45^\circ \text{C}$$

$$w_{t12s.\text{red}} = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]$$

$$P_{12s.\text{red}} = \dot{m} \cdot w_{t12s.\text{red}} = 59.904 \text{ kW}$$

$$w_{t12s} = \frac{n}{n - 1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[ \left( \frac{p_{2s}}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]$$

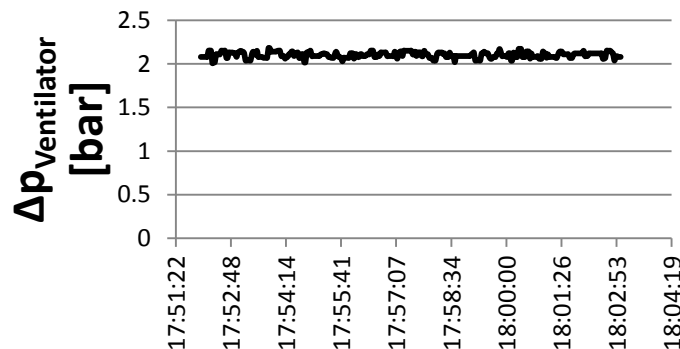
$$P_{12s} = \dot{m} \cdot w_{t12s} = 61.089 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{isent rop}} = \frac{w_{t12s.\text{red}}}{w_{t12s}} = 98.06\%$$

# 3 – ECOP Technologie

- Verdichtungseffizienzberechnung – Versuchsdaten  
2. Betriebspunkt

quasistationäre Messung über 11 min:



$$\Delta p_{\text{Ventilator}} = 2.10 \text{ bar}$$

Messwert:  $\Delta p_{\text{Ventilator}} = 2,1 \text{ bar}$  (69. 4bar auf 71,5bar)  $\rightarrow \Pi_{\text{Ventilator}} = 1.03$

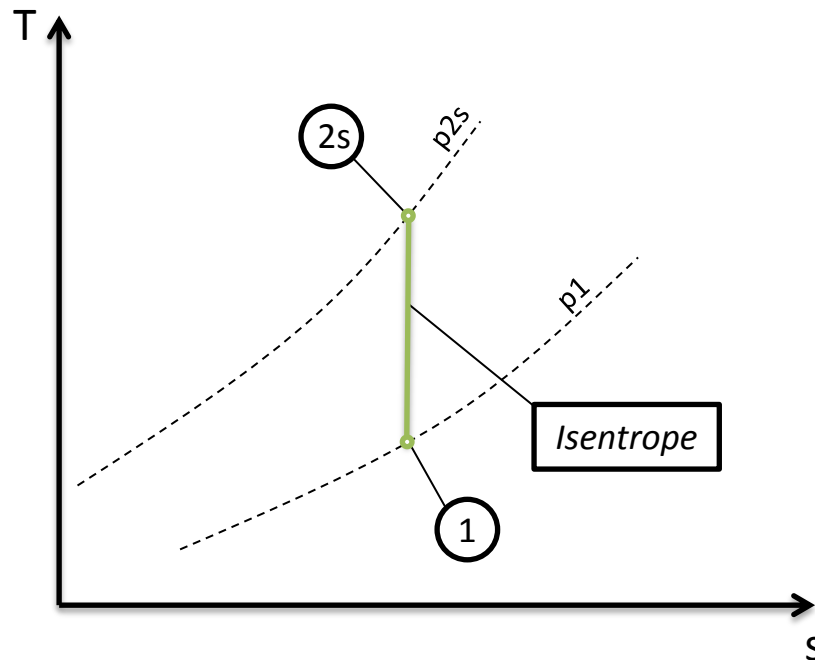
Divergenz der Isobaren ( $p_1 - p_5$ ) entspricht 0.805bar (dies sind keine Verluste!)

Von den übrigen 1.297bar fallen aufgrund von Simulationen 12,7%  
auf die Verdichtung  $\rightarrow$  dies entspricht 0.165bar

Wie wirken sich nun diese 0.165bar auf den Wirkungsgrad der Verdichtung aus?

# 3 – ECOP Technologie

- Verdichtungseffizienzberechnung - Versuchsdaten



$$T_1 = 44.06^{\circ}\text{C}$$

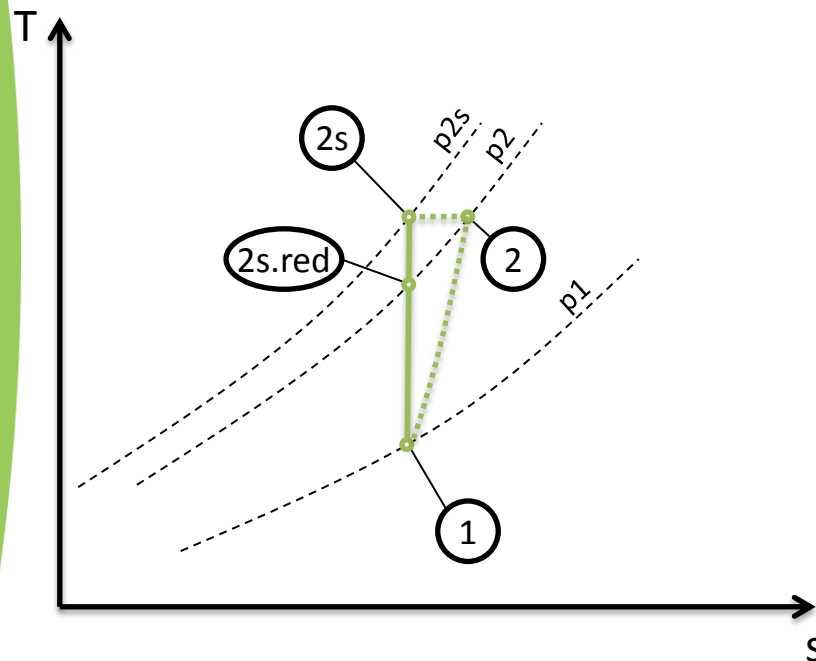
$$T_{2s} = 72.29^{\circ}\text{C}$$

$$p_1 = 71.5\text{bar}$$

$$p_{2s} = p_1 \cdot \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 88.49\text{bar}$$

# 3 – ECOP Technologie

- Verdichtungseffizienzberechnung – Versuchsdaten
- ## 2. Betriebspunkt



$$\Delta p_{\text{Verd}} = 0.165 \text{ bar}$$

Druckabfall für die Verdichtung  
wegen  $h = \text{konst.}$  und  $h \sim T$  wird  $\Delta p$  bei  $T = \text{konst.}$   
aufgetragen

$$p_2 = p_{2s} - \Delta p_{\text{Verd}} = 88.321 \text{ bar} \quad \text{und} \quad T_2 = T_{2s}$$

$$T_{2s.\text{red}} = T_1 \cdot \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = 72.031^\circ \text{C}$$

$$w_{t12s.\text{red}} = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]$$

$$P_{12s.\text{red}} = \dot{m} \cdot w_{t12s.\text{red}} = 47.608 \text{ kW}$$

$$w_{t12s} = \frac{n}{n - 1} \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[ \left( \frac{p_{2s}}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]$$

$$P_{12s} = \dot{m} \cdot w_{t12s} = 47.174 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{isentrop}} = \frac{w_{t12s.\text{red}}}{w_{t12s}} = 99.09\%$$



# 4 – Produkt

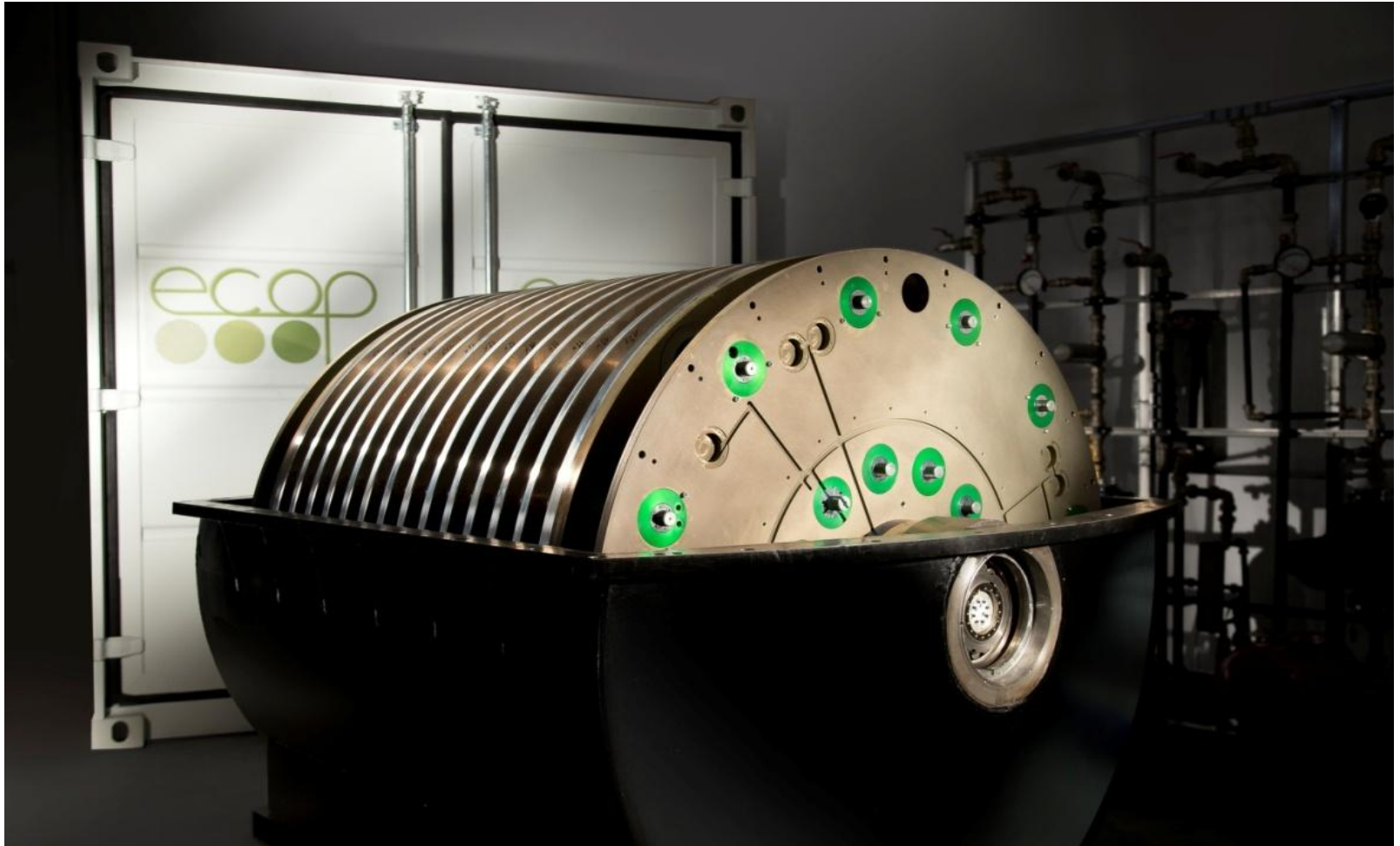
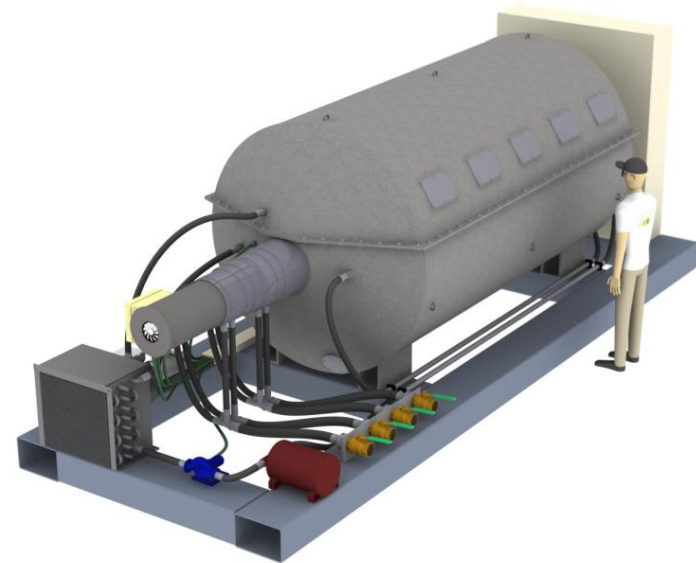
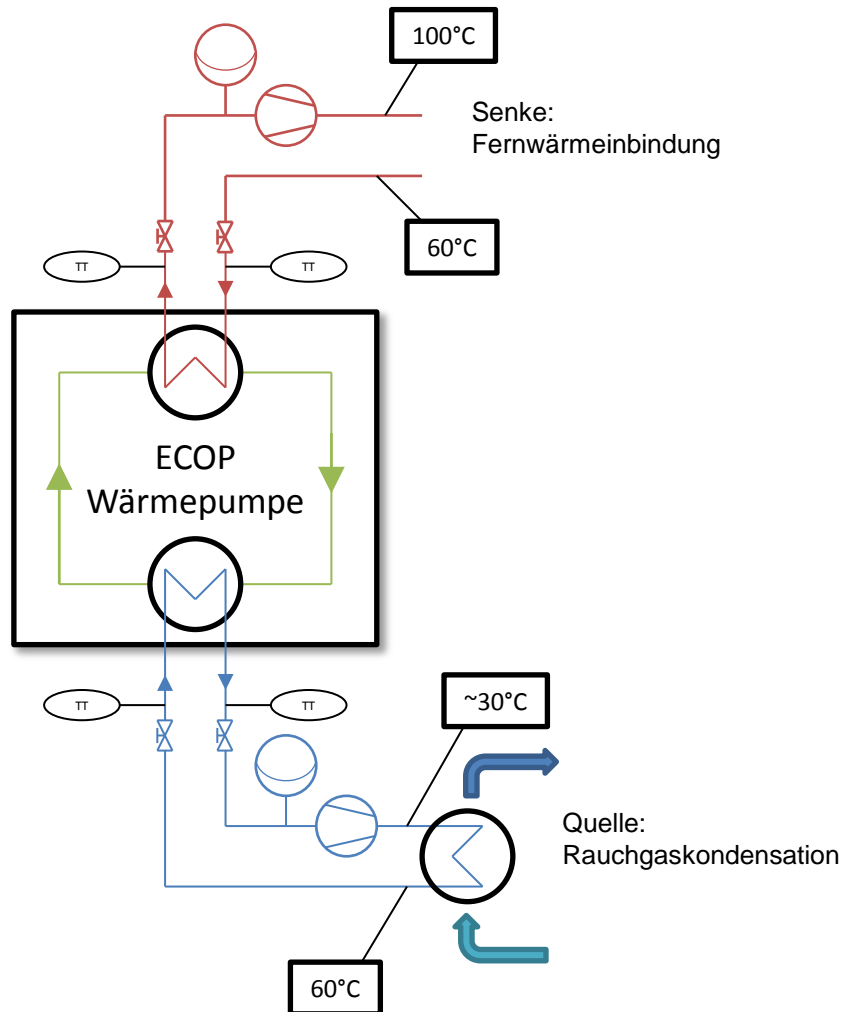


Bild der CCT100

# 4 – Produkt

Quelle Rauchgaskondensation 60/30

Senke Fernwärme 60/100



## 4.1 – Vorteile

- Temperaturen zwischen  $-20^{\circ}\text{C}$  und  $+150^{\circ}\text{C}$  mit einer Maschine realisierbar ( $-100^{\circ}\text{C}$  bis  $+200^{\circ}\text{C}$  in Zukunft)
- Flexibel einsetzbar (wie ein Wärmetauscher)
- Umweltfreundliches ( $\text{GWP} = 0$ ), nicht brennbares und nicht toxisches Arbeitsmittel
- Schmiermittelfreie, flexible Verdichtung und Entspannung
- Wärmeleistungen bis zu 2 MW (6MW in Zukunft)
- ECOP Wärmepumpe als Schwungradspeicher verwendbar

## 4.2 – weitere Schritte

- Screening Vertriebspartner
- Interesse an Pilotprojekten

Ein Demo-Video kann online abgerufen werden:  
<http://ecop-technologies.com/en/innovation/>

# 5 – Credits

Vielen Dank unseren Unterstützern:



**zit**

Die Technologieagentur  
der Stadt Wien

Die Entwicklung der ECOP Wärmepumpe wurde gefördert aus Mitteln der Stadt Wien durch die ZIT – Die Technologieagentur der Stadt Wien GmbH.



**FFG**



Technische Universität Wien

Institut für Energietechnik und Thermodynamik

**Kontaktinformation:**

**ECOP Technologies GmbH**

Perfektastraße 73, Top A1, 1230 Wien

Office: +43-(0) 1 - 86 510 62

[office@ecop.at](mailto:office@ecop.at)

[www.ecop.at](http://www.ecop.at)